

УДК 69.059+624.154

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ И КАРКАСА ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕКОНСТРУКЦИИ**

канд. техн. наук С.В. ИГНАТОВ
(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Представлены результаты комплексного исследования несущей способности оснований фундаментов и каркаса здания в условиях реконструкции. Приведены характеристика инженерно-геологических условий строительства, техническое и конструктивное описание реконструируемого здания, методика испытаний. Проектные решения по реконструкции здания реализованы после выполненного итерационного численного объемного расчета всего каркаса здания, учитывающего техническое состояние и несущую способность существующих конструкций, а также предполагаемые к реализации мероприятия по усилению. Для достижения обозначенной цели проектом предусмотрено разделение второго этажа на два, встраивание новой лифтовой шахты, комплексное усиление строительных конструкций здания для восприятия новых проектных нагрузок.

Ключевые слова: реконструкция здания, динамическое зондирование, нагрузка, деформации, испытание, расчет, усиление, буроинъекционная технология.

В настоящее время большое количество незаконсервированных и недостроенных зданий и сооружений производственного, бытового и жилого назначения как в столице, так и в областных, и районных центрах Беларуси передаются в собственность новым владельцам с целью завершения их строительства и ввода в эксплуатацию. Среди таких объектов – объект в городе Минске, результат реконструкции которого предполагает дальнейшую его эксплуатацию как полиграфического предприятия с обеспечением производственного процесса всем необходимым набором сопутствующих служебных помещений. Функции генерального проектировщика и генерального подрядчика осуществляло государственное предприятие «Институт Белжелдорпроект».

Общие сведения о существующем объекте. Основные общестроительные работы по зданию (возведение каркаса, наружных стен и кровли) были выполнены к концу 1990 года, в течение 1990–2014 годов здание являлось незаконсервированным объектом незавершенного строительства. За этот период здание не единожды меняло своего владельца, однако до 2015 года активные работы по реконструкции здания не проводились.

Здание разноэтажное, прямоугольной формы в плане, с размерами по наружным осям 111,325×21,245 м. Конструктивно здание состоит из двух основных блоков:

- *производственный блок А* – каркасный бесподвальный блок (в осях 1-11/Б-Е) выполнен в полном каркасе с несущими конструкциями из железобетонных сборных элементов и самонесущими ограждающими кирпичными стенами лестничной клетки и навесными керамзитобетонными панелями. В осях 1-5 блок трехэтажный, в осях 5-11 – двухэтажный. Несущими элементами являются: плитные монолитные фундаменты с размерами подошвы в плане 2,28...2,40×1,80 м и глубиной заложения от уровня пола 3,540...3,710 м; железобетонные колонны; сборные железобетонные ригели перекрытий и покрытия; сборные железобетонные балки покрытия; стальные балки перекрытий и покрытия; сборные железобетонные плиты перекрытий и покрытия. Несущими конструкциями лестничных клеток являются плитные фундаменты, кирпичные стены, сборные железобетонные конструкции (плиты, площадки, марши) (рисунок 1);

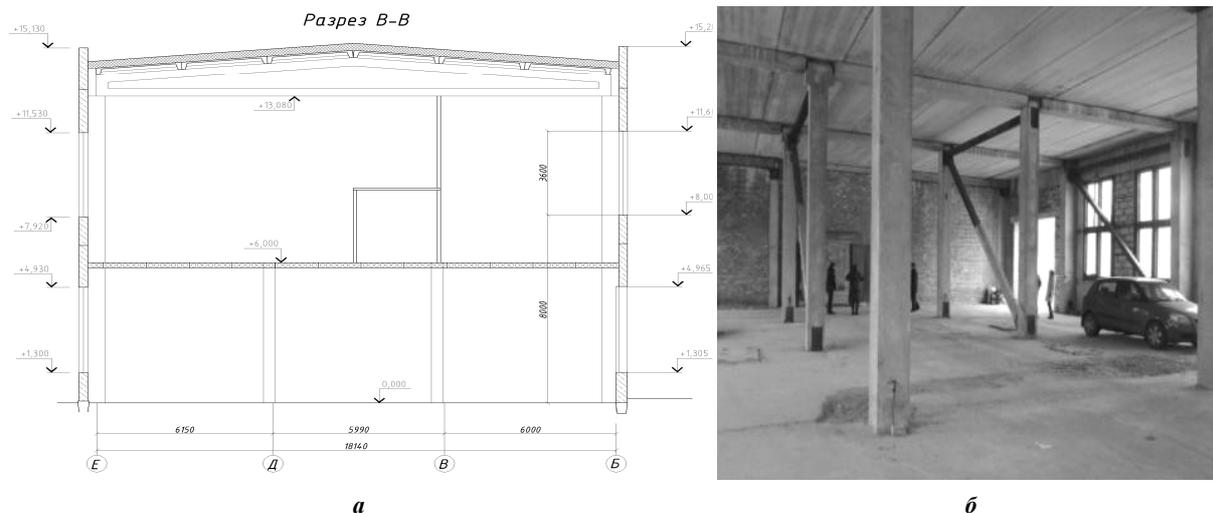
- *административный блок Б* – расположен (в осях 12-20/А-Е), бескаркасный, четырехэтажный, (включая подвал), выполнен с несущими продольными железобетонными стенами в подвале и кирпичными стенами на 1...3-м этажах; несущими стальными балками из прокатных и сварных двутавров; перекрытиями и покрытием из сборных железобетонных плит. Несущие конструкции лестничных клеток – плитные фундаменты, кирпичные стены, сборные железобетонные конструкции (плиты, площадки, марши).

Кровля здания совмещенная, рулонная с организованным внутренним водоотводом. Инженерные сети водоснабжения, водоотведения, электроэнергия к зданию до 2015 года подведены не были.

По результатам обследования, выполненного в начале 2015 года, установлено, что осредненный физический износ здания превышает 46%, в строительных конструкциях распространены многочисленные дефекты, общее техническое состояние здания – ограниченно работоспособное [1].

В представляемой работе осуществлялся контроль за осадками свайных фундаментов встраиваемой лифтовой шахты, проводимый в период ее строительства с загрузкой весом возводимых конструкций. Качество буроинъекционного усиления оснований плитных фундаментов осуществлено методом *динамического зондирования*, в результате которого установлено улучшение характеристик грунта: увеличение удельного веса, угла внутреннего трения, сцепления, модуля деформации. Достаточ-

ность несущей способности усиленного перекрытия над первым этажом подтверждена опытными испытаниями статической и динамической подвижными нагрузками.



а – разрез по зданию в осях 5-11; **б** – общий вид 1-го этажа здания в осях 5-11

Рисунок 1. – Конструктивные решения блока А (в осях 1-11)

Инженерно-геологические условия пятна застройки

Параллельно с техническим обследованием строительных конструкций здания в начале 2015 года были выполнены инженерно-геологические изыскания на пятне застройки, а также исследования оснований существующих фундаментов.

Первичный рельеф пятна застройки здания изменен в процессе строительства примыкающих зданий, автомобильных дорог, прокладки общегородских коммуникаций, благоустройства территории. Неблагоприятные геологические процессы на момент обследования не выявлены. В гидрогеологическом отношении площадка характеризуется отсутствием грунтовых вод.

Таблица 1. – Нормативные и расчетные характеристики грунтов оснований

ЭПИ	Наименование грунта	Влажность	Удельный вес, кН/м ³				Удельное сцепление, кПа			Угол внутреннего трения, град.			Мод. деформации, МПа	R _d , МПа
		w	γ _n	γ _{II}	γ _I	c _n	c _{II}	c _I	φ _n	φ _{II}	φ _I	E		
<i>Голоценовый горизонт техногенные отложения (искусственные) tIV</i>														
1	Насыпной грунт	12,4	18,7	18,3	18,0	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0
<i>Флювиогляциальные отложения сожского горизонта</i>														
2	Песок средний средней прочности	4,3	17,4	17,4	17,4	1,4	1,4	9	36	36	33	29	7,6	
3	Песок крупный, гравелистый малопрочный	6,2	15,6	15,6	15,6	–	–	–	34	34	31	12	1,5	
4	Песок крупный, гравелистый средней прочности (2,8 ≤ R _d , МПа ≤ 6,0)	5,7	16,8	16,8	16,8	0,3	0,3	0,2	37	37	34	20	4,2	
5	Песок гравелистый средней прочности (6,0 < R _d , МПа, ≤ 14,0)	5,1	17,7	17,7	17,7	0,7	0,7	0,5	39	39	35	35	8,6	
<i>Моренные отложения сожского горизонта</i>														
6	Супесь прочная	8,7	21,8	21,7	21,7	36	36	24	28	28	24	25	6,0	

В геологическом строении до глубины 15,0 м от уровня планировки принимают участие следующие отложения (сверху – вниз):

- современные искусственные образования голоценового горизонта (thIV), представленные отвалами из песков различной крупности, также из супесей, с включениями 10...15% гравия, гальки и строительных отходов с давностью отсыпки более 15 лет и мощностью от 3,0 до 3,9 м. Насыпной грунт залегает повсеместно на пятне застройки выше глубины заложения фундаментов, характеризуется неоднородностью состава, слоения и сжимаемости;

- отложения сожского горизонта (gIIsz): флювиогляциальные надморенные (fIIsz^s) отложения, представленные песками средними, крупными и гравелистыми маловлажными, залегающими под на-

сыпными грунтами со вскрытой мощностью 4,4...6,4 м; моренные (gPsž) отложения, представленные супесями с включением гравия и гальки до 15%, и частыми прослойками песка до 10 см, залегающими под флювиогляциальными песками с глубин 7,6... 10,0 м.

Проектные решения

В связи с достаточно большой стоимостью строительно-монтажных работ реконструкция была разделена на очереди: *первая очередь* – реконструкция существующего неоконченного строительством производственного блока А (в осях 1-11) под типографию с производственной мощностью 5 млн листов в месяц, подведение наружных инженерных сетей к зданию; реконструкция трансформаторной подстанции; благоустройство производственной территории; *вторая очередь* – реконструкция корпуса социально-административного назначения и окончательное благоустройство.

Технология типографии (первая очередь) предусматривала расположение производственных помещений на отметке +0.000 и +6.000 в осях 3-11/Б-Е, бытовых помещений в осях 1-3/Б-Е. Однако из-за сложной организационной структуры производства возникла необходимость выполнить дополнительный встроенный этаж на отметке +10.400 в осях 5-11/Б-Е для размещения административно-офисных и вспомогательных помещений [2; 3]. Также для вертикального перемещения грузов в осях 2-3/Б-Е был встроен дополнительный основной новый лифт, грузоподъемностью 3,2 тонны (рисунок 2).

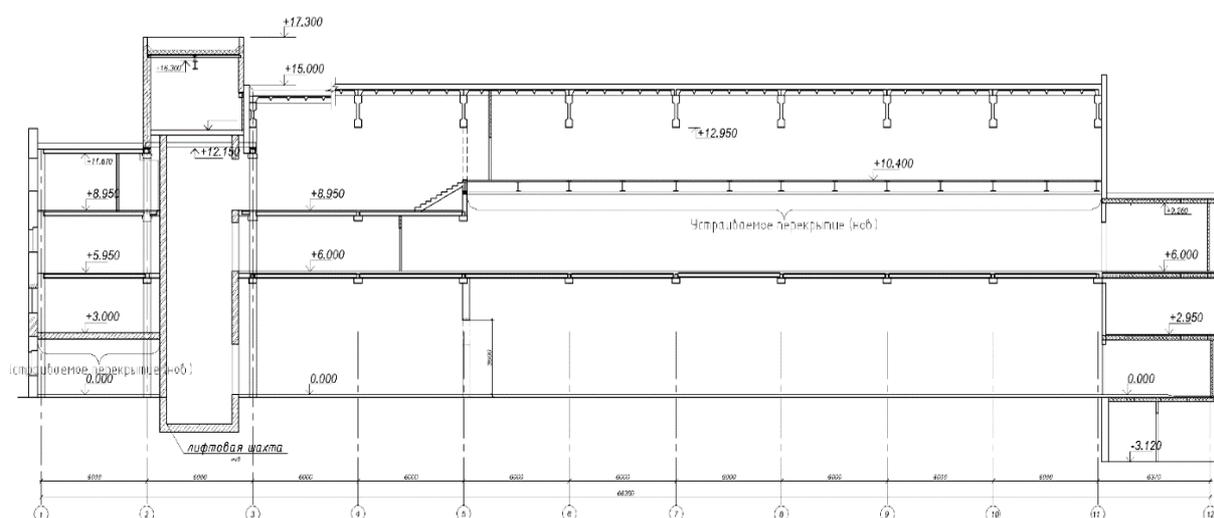


Рисунок 2. – Продольный разрез блока А в осях 1-11 после реконструкции

Проектное значение равномерно-распределенной нормативной нагрузки на первом этаже в осях 1-11/Б-Е в производственных помещениях 20 кПа, на втором этаже – 13 кПа.

Таким образом, проектом было предусмотрено выполнение следующих работ:

- устройство лифтовой кирпичной шахты (для грузового лифта) с приемком и машинным отделением, выступающим над существующей кровлей в осях 2-3/Д-Е с разборкой части существующих перекрытий и покрытия. Фундаменты лифтовой шахты – свайные, из буроинъекционных свай, объединенные по верху монолитным железобетонным ростверком. Стены лифтовой шахты запроектированы и выполнены из полнотелого керамического кирпича. Перекрытие машинного отделения и его покрытие – монолитные железобетонные часторебристые (в качестве опалубки – профилированный лист) по стальным балкам;
- усиление колонн каркаса здания для восприятия новых нагрузок от технологического оборудования и нового перекрытия на отметке +10,400 [4];
- усиление существующего настила перекрытия в осях 3-11/Б-Е на отметке +6,000 из многослойных плит перекрытия на проектные нормативные нагрузки 13 кПа [2–4];
- устройство нового железобетонного часторебристого перекрытия в осях 5-11/Б-Е на отметке +10,400 [4];
- усиление грунтов основания фундаментов колонн по оси «В» в осях 5-10 путем инъекционной цементации [5];
- прочие работы, которые необходимы для ввода типографии в эксплуатацию.

Для правильного определения возникающих усилий в существующих строительных конструкциях, определения необходимых элементов и видов усиления, определения деформаций и осадок выполнен объемный расчет всего блока здания.

Объемный расчет каркаса здания

Статический расчет каркаса здания для условий нормальной эксплуатации с учетом пространственной работы строительных конструкций (рисунок 3) выполнялся с использованием программного комплекса SOFiStiK. Расчетная модель включала в себя несущие элементы здания: колонны, виазы, диски перекрытий и покрытий. Расчеты строительных конструкций выполнены по двум группам предельных состояний. Нагружение расчетной схемы производилось постоянными нагрузками (от собственного веса строительных конструкций), кратковременными (от веса людей и оборудования на перекрытия, от веса снегового покрова на покрытие, от давления ветра) [4; 6].

Расчет на проектные нагрузки проводился в несколько этапов: без учета усиления строительных конструкций и с учетом усиления.

Таким образом, установлены принципиальные решения по усилению строительных конструкций и оснований фундаментов: усиление оснований фундаментов инъекционными методами позволило снизить значение максимальной осадки фундамента средней колонны с 54 до 34 мм, в результате максимальная относительная разность осадок фундаментов составила $8/6000 = 0,0001$ вместо $27/6000 = 0,0045$ (без усиления) при предельно нормируемом значении $\Delta S/L = 0,002$.

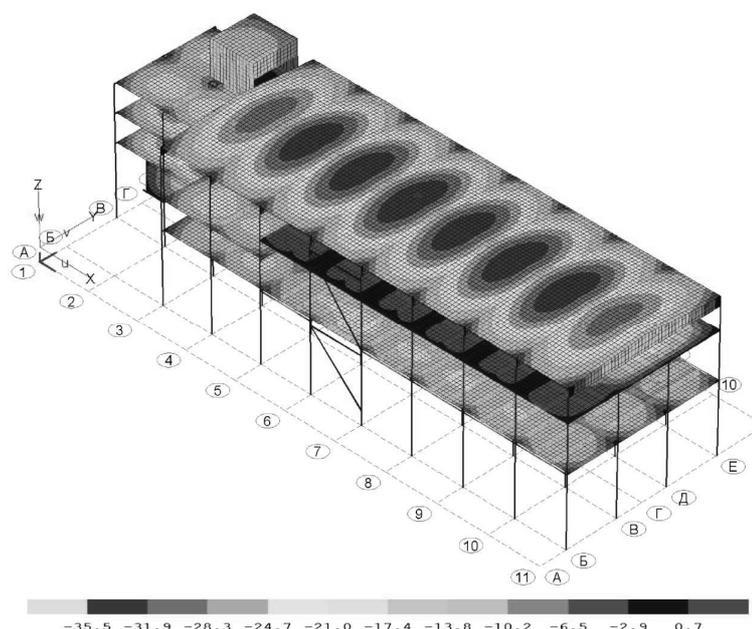
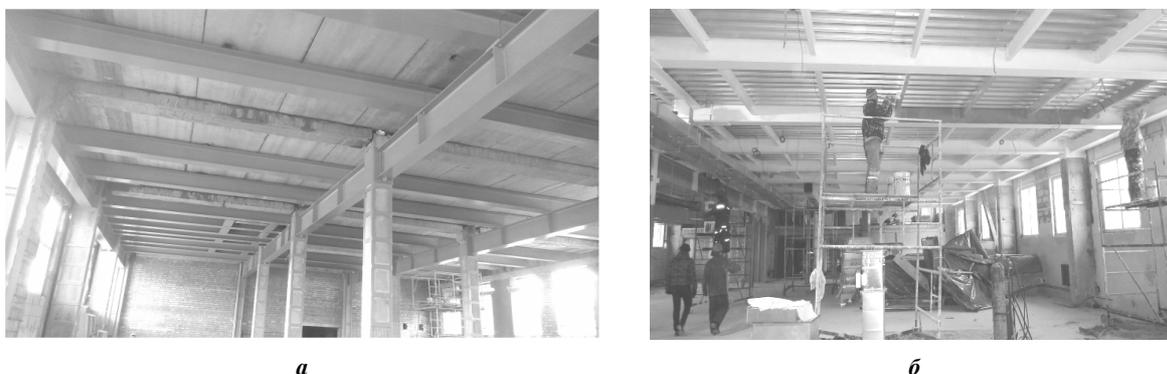


Рисунок 3. – Вертикальные перемещения по оси Z элементов каркаса здания, мм

Значение максимального прогиба усиливаемого на нормативное значение нагрузки 13 кПа диска перекрытия на отм. +6,000 в осях 3-11 не превышает 22 мм, что меньше допустимого значения $f_u = 1/200 = 6000/200 = 30$ мм. Максимальный коэффициент использования сечения стальных балок усиления составил 0,93.



а – усиление настила перекрытия над первым этажом в осях 5-11; б – устройство нового перекрытия в осях 5-11

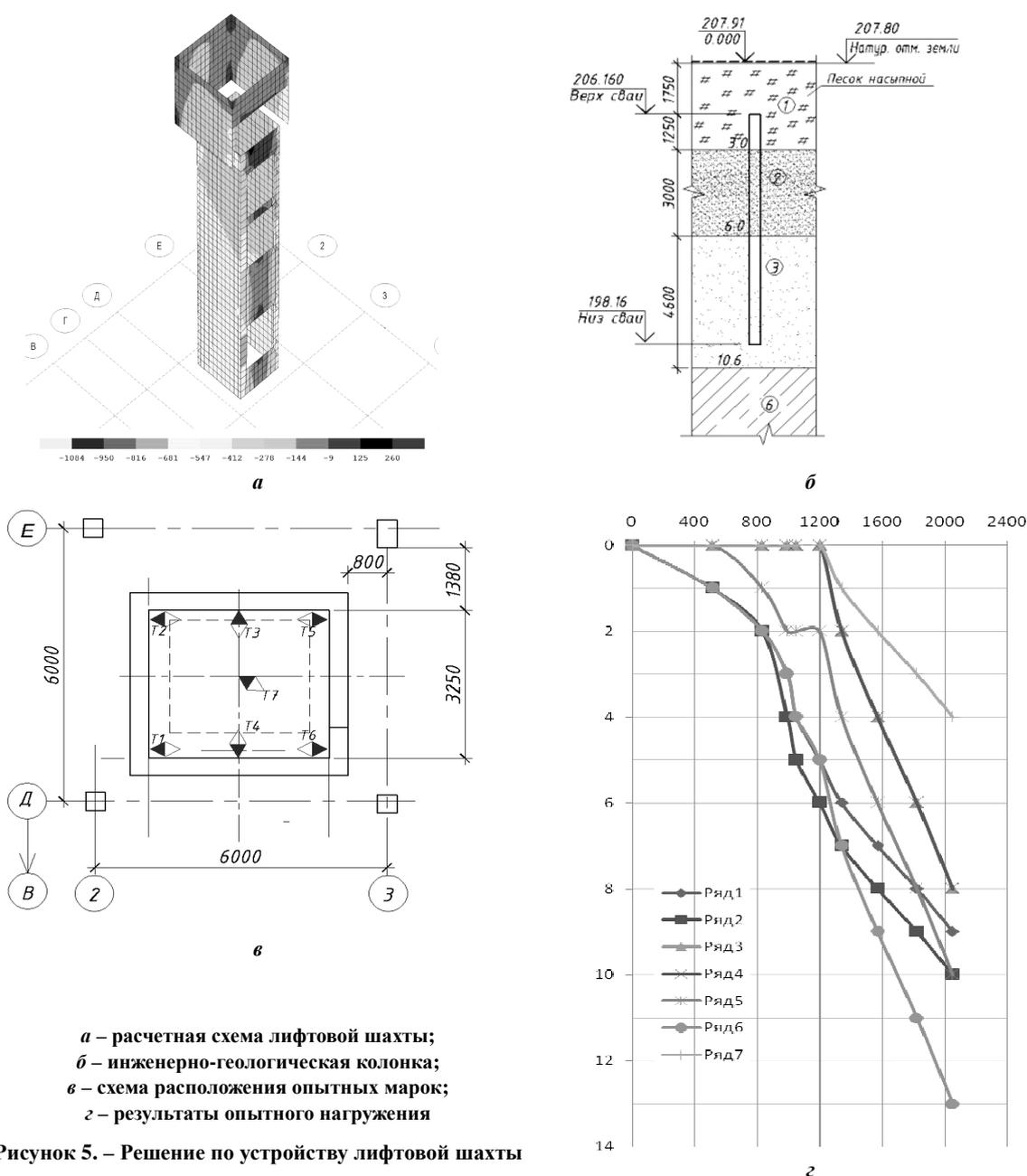
Рисунок 4. – Реализация проектных решений по усилению конструкций и возведению новых

Устройство лифтовой шахты

В связи с технологической необходимостью перемещения грузов с 1-го на 2-й этаж возникла необходимость встроить грузовой лифт грузоподъемностью 3,2 тонны в осях 2-3/В-Д.

Стенки лифтовой шахты – кирпичные, фундаменты – свайные, за основание свай принят песок крупный, гравелистый. Решение об устройстве свайных фундаментов под лифтовую шахту принято исходя из геологических условий, нагрузок на проектируемые фундаменты и конструкции нулевого цикла существующего здания с учетом требований [5; 7–9].

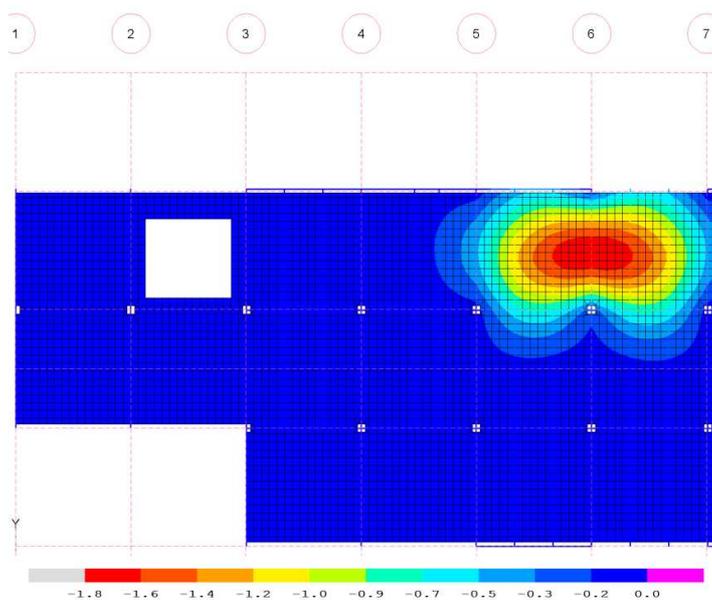
В связи со стесненными условиями строительства, его сжатыми сроками, а также в целях апробации научных исследований по влиянию инъекционной опрессовки на несущую способность и деформативность оснований свайных фундаментов принято решение – нагружение опытных свай осуществлять нагрузками от строительных конструкций возводимой лифтовой шахты с наблюдением за осадками системы «свайный куст – ростверк». После заливки ростверков на нем было установлено 7 марок, по которым определялись осадки (рисунок 5). Осадки марок замерялись по специально разработанной программе с шагом $0,1N$, где N – проектное усилие на ростверк. Последний замер осадок был выполнен после окончания всех строительных работ и проведения пусконаладочных работ лифтового оборудования с его испытанием.



Опытное нагружение перекрытия на отметке +6,000

После усиления перекрытия на отметке +6,000 с целью изучения его работы в натуральных условиях и для проверки соответствия поведения расчетным предпосылкам предполагалось натурное нагружение этого перекрытия. Программой испытаний предусматривалась установка нагрузки в 11 этапов (загрузений). Предварительно был выполнен объемный расчет перекрытия на каждое из 11 загрузений с определением напряжений и деформаций в строительных конструкциях (рисунок 7, а). В качестве нагрузки применялись погрузчики Manitou, устанавливаемые в определенные положения (рисунок 7, б).

Нагрузка (погрузчики Manitou) постепенно передвигалась по перекрытию над первым этажом вдоль сооружения с промежуточными остановками до тех пор, пока не была установлена в наиболее невыгодное загрузение. Установка нагрузки при загрузении на максимум подобрана таким образом, чтобы воздействие на конструкцию было эквивалентно воздействию эксплуатационной нагрузки в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.



а



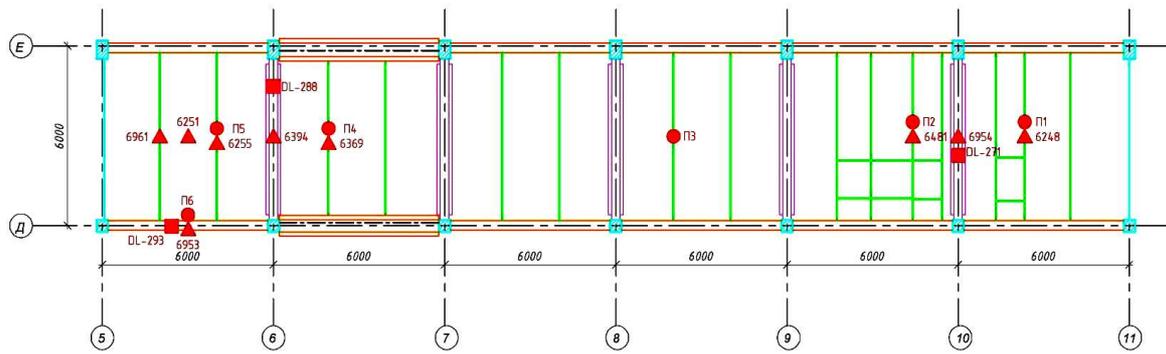
б

а – расчетные напряжения, возникающие в плите от расположения испытательной нагрузки;

б – расположение нагрузки на перекрытии

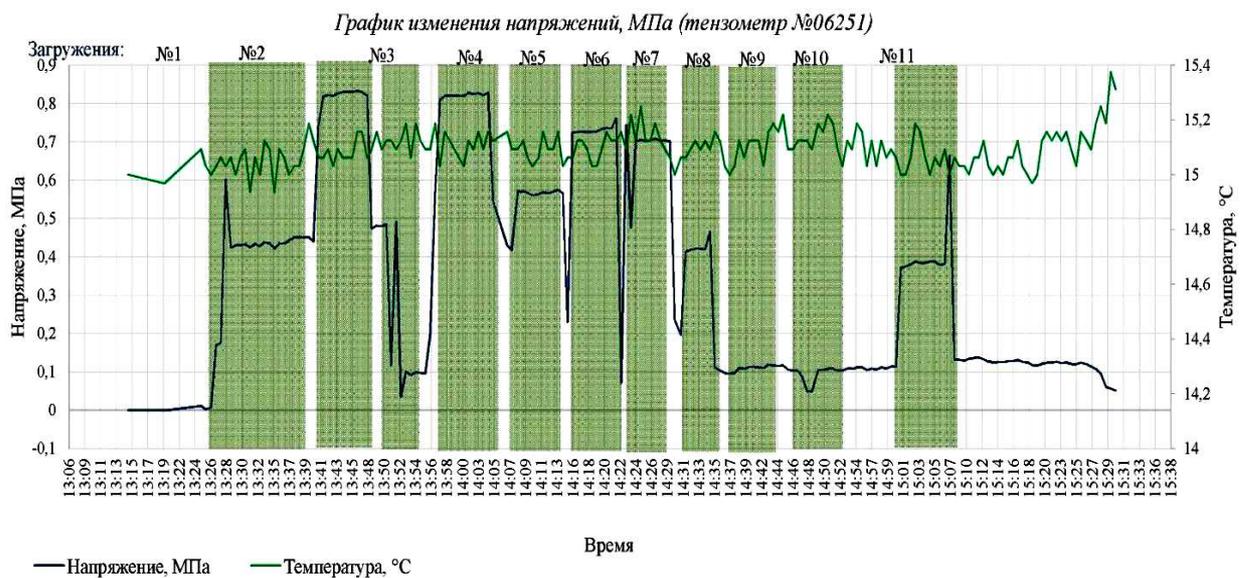
Рисунок 7. – Испытания перекрытия над первым этажом (этап № 6)

Для полевого контроля значений напряжений в конструкциях с пола первого этажа на существующие железобетонные ригели, нижние поверхности плит, на стальные балки перекрытия были установлены прогибомеры и тензодатчики (рисунок 8, а).



- - Прогибомер
- ▲ - Струнный тензодатчик
- - Блок передачи данных

а



б



в

а – схема расположения контрольных датчиков;
 б – замеры в датчике, установленном на нижней грани плиты;
 в – замеры в датчике, установленном в середине пролета металлической балки

Рисунок 8. – Испытание перекрытия над первым этажом

Одним из критериев оценки сооружения по результатам статических испытаний может служить соотношение намеренных упругих и остаточных деформаций (в основном прогибов), выражаемое показателем работы конструкции α [4], при этом оценка работы вновь построенных сооружений по соотношению упругих и остаточных деформаций производится по результатам первого нагружения конструкций испытательной нагрузкой (рисунок 8, б, в), близкой по величине к нормативной.

По результатам опытного нагружения выявлено, что показатель работы конструкции α , выраженный в соотношении намеренных упругих и остаточных прогибов, составляет 0...0,11, что свидетельствует о положительной оценке работы конструкции.

Кроме того, результаты проведенного испытания перекрытия показали, что значения коэффициента K (K – соответствие упругих факторов, измеренных в конструкции при воздействии испытательной нагрузки, значениям, найденным расчетным путем) для основных несущих конструкций перекрытия и его элементов по прогибу составляют 0,2...0,75, по напряжениям 0,16...1,0, что свидетельствует о положительной оценке работы конструкции и достаточной сходимости расчетной модели с натурной конструкцией – коэффициент K в большинстве своем находится в пределах 0,7...1,0.

Заключение

Применение современного научно-ориентированного подхода к проектированию и строительству позволило в достаточно сложных условиях успешно реализовать новые технические решения по усилению оснований и строительных конструкций, с достижением необходимого уровня надежности и экономичности и получить значимые научные результаты, обладающие новизной и актуальностью.

Так, устройство в достаточно сложных геологических условиях и в условиях стесненности буронагнетательных свай под лифтовую шахту позволило реализовать потребность в вертикальной транспортной связи проектируемого производства, а проведенный геотехнический мониторинг за осадками засвидетельствовал пригодность лифтовой шахты к эксплуатации и выявил факторы, оказывающие влияние на распределение нагрузки в свайно-плитном фундаменте.

Полученные результаты зондирования грунтов вокруг усиленных инъекцией оснований плитных фундаментов дополнительно загружаемых колонн указывали на факт упрочнения грунта и достаточности несущей способности основания.

Пространственный расчет каркаса здания с учетом усиления существующих и возведения новых конструкций подтвердил требуемую жесткость и устойчивость.

Дополнительное опытное нагружение перекрытия после реализации мероприятий по усилению конструкций свидетельствовало о правильности принятых расчетных предпосылок и проектных решений, возможности безопасной эксплуатации здания.

Опытное нагружение рекомендуется к применению в случаях сложных конструктивных систем в условиях как нового строительства, так и реконструкции зданий, находившихся в эксплуатации.

Исходя из методики проведенных испытаний и полученных результатов экспериментальных исследований сделаны следующие *выводы*:

- результаты проводимого контроля за осадками свайных фундаментов встраиваемой лифтовой шахты получены в период ее строительства с нагружением весом возводимых конструкций;
- качество буронагнетательного усиления оснований плитных фундаментов определено методом динамического зондирования, в результате которого установлено улучшение характеристик грунта (увеличение удельного веса, угла внутреннего трения, сцепления, модуля деформации);
- достаточность несущей способности усиленного перекрытия над первым этажом подтверждена опытными испытаниями статической и динамической подвижными нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.04-305-2016. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2017. – 111 с.
2. Вольфсон, В.Л. Реконструкция и капитальный ремонт жилых и общественных зданий : справочник производителя работ / В.Л. Вольфсон, В.А. Ильяшенко, Р.Г. Комисарчик. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 2004. – 252 с.
3. Реконструкция зданий и сооружений : учеб. пособие для строит. вузов / А.Л. Шагин [и др.] ; под ред. А.Л. Шагина. – М. : Высш. шк., 1991. – 352 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2002. – 144 с.

5. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Геотехническая реконструкция. Правила проведения : ТКП 45-5.01-235-2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2011. – 120 с.
6. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – М. : Стройиздат, 1990. – 37 с.
7. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2012. – 107 с.
8. Рекомендации по применению буринъекционных свай. – М. : НИИОСП, 1984. – 49 с.
9. Свайные фундаменты и заглубленные сооружения при реконструкции действующих предприятий / Е.М. Перлей [и др.] ; под ред. Е.М. Перлея. – Л. : Стройиздат, 1989. – 176 с.
10. Коновалов, П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П.А. Коновалов, В.П. Коновалов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : АСВ, 2011. – 384 с.
11. Фундаменты плитные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-67-2007. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2008. – 136 с.

Поступила 04.12.2017

**BASE FOUNDATION AND BUILDING
FRAME BEARING CAPACITY INTEGRATED STUDY
IN TERMS OF RECONSTRUCTION**

S. IHNATOV

The results of a comprehensive study of the bearing capacity of foundations and the framework of a building under reconstruction are presented. The characteristic of engineering-geological conditions construction, technical and constructive description of the reconstructed building, the test procedure are given. Design solutions for the reconstruction of the building are implemented after the iterative numerical volume calculation of the entire frame of the building, taking into account the technical condition and load-carrying capacity of existing structures, as well as the measures for strengthening the measures to be implemented. To achieve this goal, the project provides for the division of the second floor into two, the integration of a new elevator shaft, the comprehensive reinforcement of the building's building structures to absorb new design loads.

Keywords: *drillinjected technology, deformation, building, testing, load calculation, strengthen.*